

**UOT 631.4**

# 1.4 GÖRÜNƏN VƏ YAXIN INFRAQIMIZI SPEKTRORADIOMETR VASITƏSİLƏ ÇƏMƏN-BOZ TORPAQLARDA KARBONATLARIN ÖYRƏNİLMƏSİ

**F. M. FEYZİYEV**

**AMEA Torpaqşünaslıq və Aqrokimya institutu**

Bu məqalədə məqsədımız görünən və yaxın infraqırmızı spektroskopiyanın torpaqşünəlik elində hazırkı vəziyyətinə nəzər salmaq və tətbiq imkanlarını müzakirə etməkdir. Muğan düzündün çəmən-boz torpaqlarının tədqiqatı məqsədilə tədqiqat ərazisindən torpaq kəsirləri qoyulmuş və genetik qatlar üzrə nümunələr toplanmışdır. Nümunələr İtaliyanın CREA Agro-biologiya və Torpaqşünəlik Tədqiqatı Mərkəzində "ASD fieldSpec 3 spektrometri" (350-2500 nm) cihazında spektral analizləri aparılmışdır. Aparılan analizlərdən məlum olmuşdur ki, torpaqların spektral xüsusiyyəti əsasında karbonatları, üzvi maddələri, mübadilə olunan kationları, mütəhərrik fosforu, pH-ı və s. torpaq göstəricilərini öyrənmək mümkündür. Hazırkı tədqiqatda Muğan düzündə inkişaf etmiş çəmən-boz torpaqlar tədqiq olunmuş və proqnozu verilmişdir. Spektral matrisdən informasiyanın çıxarılması və modelləşdirilməsi üçün PLSR modelindən istifadə olunmuşdur.

**Açar sözlər.**  $\text{CaCO}_3$ , çəmən-boz torpaq, spektral ölçmə, PLSR modelləşdirmə

**I**lk öncə qeyd edilməlidir ki, torpaqların spektral xüsusiyyəti əsasında tədqiqinin bir çox üstünlükləri vardır. Bu texnologiya vasitəsilə torpağın təkibini, üzvi maddələrin miqdarını, qranulometrik tərkibini, gil mineralını, həmçinin qida elementlərinin, münbitlik elementlərini, strukturunu və mikrobioloji fəallığını tədqiq etmək mümkündür. Bütün bunlarla yanaşı isə, analiz üçün torpaq nümunəsinin qurdulması və ələkdən keçirilməsi kifayətdir, digər tərəfdən, heç bir kimyəvi maddədən (çirkləndiricidən) istifadə olunmur və torpağın bir neçə göstəricisinin müəyyənləşdirilməsi üçün sadəcə bir ölçmə kifayət edir ki, bunun üçün də neçə saniyəyə tələb olunur (2). Üzvi maddələr görünən fəzada geniş udma xassəsinə malikdir ki, bu da üzvi maddələrin tünd rəngi ilə bağlıdır. Yaxın infraqırmızı zonada (780-2500 nm) udma OH, SO<sub>4</sub> və CO<sub>2</sub> qrupları ilə əlaqələdir. Gil mineralı isə yaxın və infraqırmızı zonada R-OH və O-H kombinasiyaları ilə əlaqələdir (2). Suyun torpaq spektirinin yaxın infraqırmızı zonasında böyük təsiri mövcuddur və torpaq spektrasi üçün suyun nəzərəçarpan təsiri 400-1900 nm dalğa uzunluğunda müşahidə olunur (4). Görünən və yaxın infraqırmızı zonada torpağın əksətmə-spektri torpaq göstəricilərinin üst-üstə düşməsi ilə əlaqədar olaraq kifayət qədər mürəkkəbdir. Bu xüsusiyyət torpağın strukturunun təsiri və ya kvras kimi xüsusi təkibin olması ilə daha da mürəkkəbləşir və ona görə də torpaq spektrində hər hansı bir infromasiyanın çıxarılması üçün riyazi üsuldən istifadə olunmasını–müxtəlif çoxdəyişkənli kalibrasiya modellərindən istifadə olunmasını zəruri edir (5). Torpaq spektral ölçmələrində ən çox istifadə olunan kalibrasiya methodlarına xətti reqressiya, prinsipal componenet regression (PCR), və Partial least squares regression (PLSR) metodlarıdır. Çoxdəyişkənli kalibrasiya metodu seçilərkən kalibrasiya və

validasiya nümunələrinin düzgün müəyyənləşdirilməsi vacibdir. Kalibrasiya üçün götürülən nümunələrin sayı və yayılması xarakteristik olmalıdır. Həmçinin validasiya üçün olan nümunələrin kalibrasiya prosesinə heç bir təsiri olmamalıdır.

Son illər torpaq göstəricilərinin görünən və yaxın dalğalı infraqırmızı dalğa uzunluğunda müəyyənləşdirilməsi üçün çoxlu tədqiqatlar aparılmışdır. Bunlardan daha çox ümumi və üzvi karbonun miqdarının öyrənilməsi bundan əlavə gil mineralının miqdarının öyrənilməsi təşkil edir. Bununda əsas səbəbi gilin miqdarının və üzvi maddələrin torpağın mühüm xüsusiyyəti olması ilə və spektral xüsusiyyətlərinin daha asan müəyyənləşdirilə bilməsidir. Digər tez-tez tədqiq edilən torpaq göstəricilərindən pH, mübadiləvi P, K, Fe, Ca, Na, Mg, və MOK-dır ki, bu göstəricilər digər torpaq göstəriciləri ilə əlaqədərdir. Nəticədə, aparılmış tədqiqatlarda bu göstəricilər müxtəlif nəticələrlə özünü biruzə verir baxmayaraq ki, pH-in spektral xüsusiyyətləri çox zəifdir. Spektral analiz üçün ən önəmli prosesdən biri kalibrasiya üçün düzgün düzgün və xarəktəritik nümunələrin seçilməsidir və daha dəqiq riyazi modelin tətbiq olunmasıdır (6).

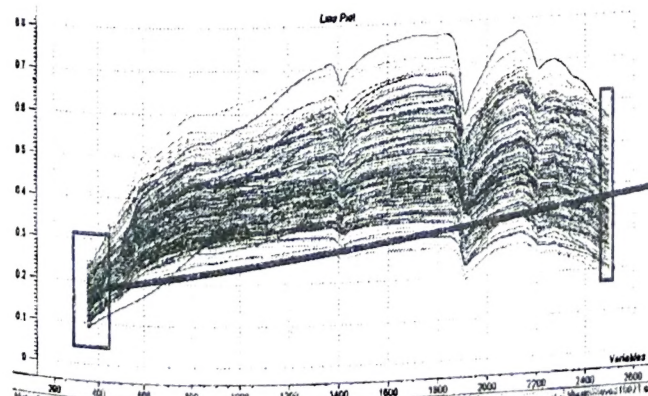
Adətən spektral analizə cəlb olunmuş nümunələrin sayı 100-dən yuxarı olduqda daha effektiv olur. Türkiyənin semiarid zonasının 512 nöqtəsindən toplanmış nümunələrin PLSR modeli vasitəsilə spektral analizinin təhlilindən məlum olmuşdur ki, torpaqların spektral əksətməsi ilə mübadiləvi Ca, Mg, MOK, üzvi maddələrlə və  $\text{CaCO}_3$ -lə çox güclü korrelyativ əlaqəsi vardır (8). Karbonatların spektral analizinin proqnozlaşdırılması üçün PLSR ən çox istifadə olunan və ən etibarlı modeldir. Torpaq göstəricilərinin spektral öyrənilməsi, torpaqda karbonatların 2300-2350 nm və 2500-2550 nm dalğa uzunluğunda spektral əksətməsi müşahidə olunur (2).



**Material və metodika.** Muğan düzü Zaqaqazı-yanın qərbində, Kür-Araz ovalığının isə cənub qərbində yerləşir. Muğan düzü şimaldan, şərqdən və qərbdən Kür və Araz çayları ilə, cənub-şərqdən Kür çayının qolu olan Akkuşa çayı ilə, cənubdan Lənkəran ovalığı ilə və cənub-qərbdən isə İranla həmsərhəddir (Şəkil 1). Təsvir edilən tədqiqat ərazisinin iqlimi yayı quraq keçən mülayim isti, yarımsəhra quru çöl iqliminə aiddir. Bu iqlim tipi çox az və zəif nəmliyi və yayının quru-isti keçməsi ilə səciyyələnir. Bu ərazi üçün ən soyuq aylar yanvar, fevral, ən isti aylar isə iyul və avqustdur. Ərazinin yayı quru və isti keçir ki, bu da öz növbəsində bitki örtüyünə və torpaqəmələgəlmə prosesinə mənfi təsirin göstərir. Muğan düzünün ərazisində qurunt sularının səviyyəsi müxtəlif dərinlikdə yerləşir ki bu da əsasən relyefdən aslıdır. Qurunt sularının səthə yaxın vaxtı əsasən may-iyun aylarıdır. İyun ayının axırlarından başlayaraq qurunt sularının səviyyəsi aşağı düşməyə başlayır.

Tədqiqat ərazisinin əsas torpaq tipi Çəmən-boz torpaq tipidir və əsas hissəsi kənd təsərrüfatı altında suvarma şəraitində becərilir.

Beləliklə Muğan düzünün xarakterik yerlərindən müxtəlif kənd təsərrüfat istifadəçiliyi altında istifadə olunan torpaqlardan müxtəlif dərinlikdə 47 torpaq kəsimi (194 nümunə) qoyulmuş və spektral analizi aparılmışdır. Torpaq nümunələri otaq havası şəraitində qurudulmuş və 2 mm-lik ələkdən keçirilmişdir. Ölçmələr ASD fieldSpec 3 spektrometrisi qurğusu vasitəsilə qaranlıq otaqda ölçülmüşdür. Torpaqların spektral ölçmələrə kənar təsirlərdən qorumaq üçün ardıcıl bir neçə "yaxşılaşdırıcı" prosedura cəlb olunmuşdur, yəni torpaq nümunələrindən dəqiq məlumatın çıxarılması üçün səs və sınımlardan azad olunmuşdur. Ölçmələr zamanı "səsli" bölgə əsasən 350-400 nm və 2450-2500 nm dalğa arasında müşahidə edilmişdir (Şəkil 1). Bu spektral zona torpaq haqqında heç bir informasiya əks etdirmədiyindən spektral matriksdən mexaniki olaraq silinmişdir.

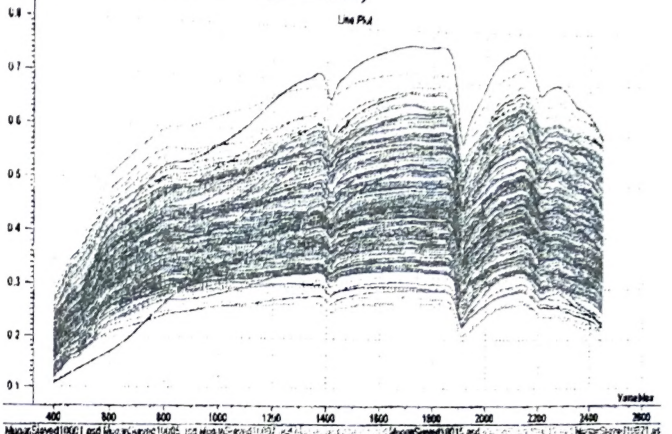


Şəkil 2. Torpaq nümunələrinin spektral matriksinin yaxşılaşdırmadan əvvəlki grafik görüntüsü

Torpaq spektral ölçmələrində sınımlar şəkil 2-də göstərilmişdir. Bu sınımlar 100-1800 nm dalğa uzunluğunda baş vermişdir. Bu təsiri aradan qaldırmaq

üçün R-statistik komputer proqramında "Splice correction" algoritmindən istifadə edilmişdir (Şəkil 2).

Şəkil 3. Torpaq nümunələrinin spektral əksətməsi (yaxşılaşdırmadan sonrakı görüntüsü)



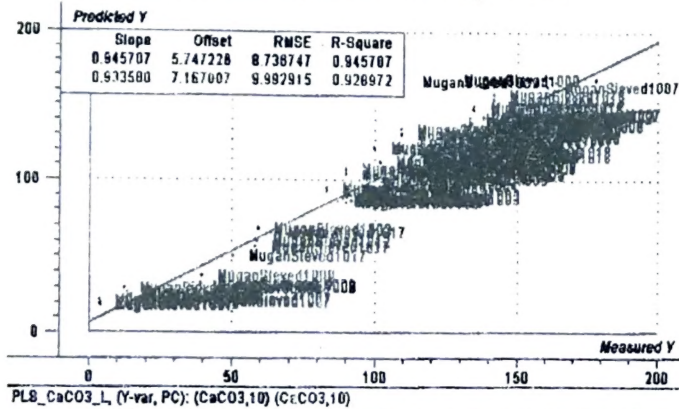
Torpaqların spektral ölçməsi zamanı işığın udulması və əks olunması torpağın qranulometrik tərkibindən də aslıdır və torpaq hissəciklərin paylanması işığın yayılma dərəcəsinə təsir edir (3). Kobud strukturlu torpaqlarda işıq hissəciklər arasında yayılır və əks olunma azalır, udulma isə artır. Beləliklə, əldə edilmiş "xam" spektral ölçmənin yaxşılaşdırılması üçün ən çox istifadə olunan prosedura ikiyə ayrılır; Səpilmə-korreksiya metodu (scatter-correction methods) və spektral törəmə (1,7). Əldə etdiyimiz spektral məlumatlarda kənar təsirləri və arzuolunmaz səpilmələri aradan qaldırmaq üçün "Multiplicative Scatter Correction" metodu tətbiq edilmişdir. Daha sonra isə "Savitski-Golay törəməsi" metodu vasitəsilə spektral matriksdə hamarlılığı təmin etməkdir.

**Təhlil və müzakirə.** Arid zonada çöküntüklü süxurlar üzərində inkişaf edən torpaqlarda Calsit və dolomit mineralının miqdarı yüksək olur. Tədqiqat apardığımız Muğan düzündə iqlimin quraq olması, yağıntının (<350) buxarlanmadan (>1000) təqribən 3 dəfəyə qədər aşağı olması və qurunt sularının səviyyəsinin səthə yaxın olması bu torpaqlarda karbonatlığın yüksək olmasına şərait yaratmışdır. Aparılan laboratoriya tədqiqatların nəticələrinə əsasən bu torpaqlarda karbonatların maksimum miqdarı 21.5% təşkil edir, orta miqdarı isə 10.8%-dir.

Aparılmış torpaq tədqiqatları nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, torpaq spektral analizində karbonatların miqdarı yaxın infraqırmızı zonada aydın əks olunur. Arid zona torpaqlar morfogenetik diaqnostikasında karbonatların, gipsin və bir çox suda həll olan duzların toplanması

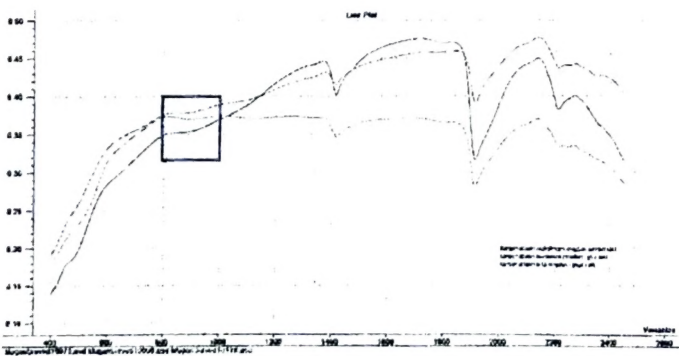


prosesi xasdır. Ona görə də bu torpaqlar üçün tez, ucuz və etibarlı nəticələr verən analiz metodlarının tətbiqinin böyük əhəmiyyəti vardır. Xüsusilə Muğan düzündə inkişaf etmiş çəmən-boz torpaqların istər çöl tədqiqatlarında, istərsə də laborator tədqiqatlarda ümumi karbonatların miqdarının yüksək olduğu müşahidə edilmişdir. 1 sayılı cədvəldə ümumi və aktiv karbonatların laborator göstəricilərinin statistik təhlili verilmişdir. Cədvəl əsasən ümumi karbonatların maksimum miqdarı 215.8, minimum miqdarı isə 3.6 q/kq göstərir ki, bu da Muğan düzündə inkişaf edən torpaqların karbonat tərkibinin böyük intervalda (212.2 q/kq) dəyişdiyini göstərir. Müvafiq olaraq fəal karbonatların miqdarında da bu dəyişiklik özünü göstərir. Aparılan laborator analizlərdə Standart xəta göstəricisi yol verilə bilən miqdardan aşağıdır və ümumi karbonatlar üçün 4.11, fəal karbonatlar üçün isə 2.02 təşkil edir.



Şəkil 4. Fəal karbonatların (sığda) və ümumi karbonatların kalibrasiya modeli

Ümumi və fəal karbonatların kalibrasiya modeli üçün PLSR (Partial Least Square Regression) modelindən kross-validasiya metodu ilə karbonatların spektral korrelyasiyası qiymətləndirilmişdir. Şəkil 3-də kalibrasiya üçün seçilmiş numunələrin PLSR modeli verilmişdir.

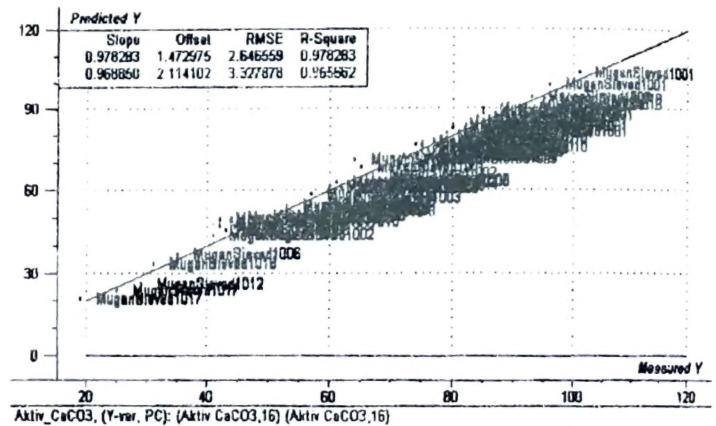


Şəkil 5. Spektral analize cəlb olunmuş torpaqlarda karbonatların minimum, maksimum və orta miqdarının spektral əksi

Şekillərdən görüldüyü kimi, torpaqda olan karbonatların spektral korrelyasiyası çox güclüdür və xətti reqresiya korrelyasiyası 0.90-dan yüksəkdir. Ümumi karbonatlar üçün  $R^2$ -0.92, fəal karbonatları üçün isə 0.96 təşkil edir. Orta Kvadratik xəta ümumi karbonatlar üçün 9.99, fəal karbonatlar üçün isə 3.32 təşkil edir. Bu onun göstəricisidir ki, PLSR modeli karbonatların torpaqda miqdarının proqnozlaşdırılması üçün etibarlı modeldir və kalibrasiya üçün seçilmiş

(n=90) nümunələr ümumi nümunələr üçün (n=194) kifayət qədər xarakterikdir. Götürülmüş torpaq nümunələrində karbonatların miqdarının minimum, maksimum və orta miqdarını əks etdirən qrafik şəkil 4-də verilmişdir.

Karbonatların çoxluğu torpaqda spektral əks olunmanın da çox olması deməkdir. Şəkil 4-ə nəzər saldıqda karbonatların miqdarına uyğun əksətmə 800-1000 nm dalğa uzunluğunda rast gəlinir. Lakin karbonatların miqdarının müəyyənləşdirilməsi üçün xarakterik olan dalğa uzunluğu əsasən 2300-2350 və 2500-2550 olan yaxın infraqırmızı zona hesab olunur. PLSR modeli hər hansı torpaq göstəricisi haqqında məlumat çıxararkən bütün spektral matriksdən istifadə edir və ona görə də görünən və yaxın infraqırmızı zonanın hansı hissəsinin xarakterik olduğunu müəyyənləşdirmək çətindir (8). Beləliklə, Muğan



düzündən götürülmüş nümunələrin spektral xüsusiyyətləri əsasında proqnozu verilmişdir. Aşağıdakı qrafiklərdə karbonat göstəricilərin korrelyativ əlaqəsini əks etdirən məlumatlar əks olunmuşdur.

Cədvəl . Spektral yolla analiz edilmiş karbonatların müqayisəli statistik göstəriciləri

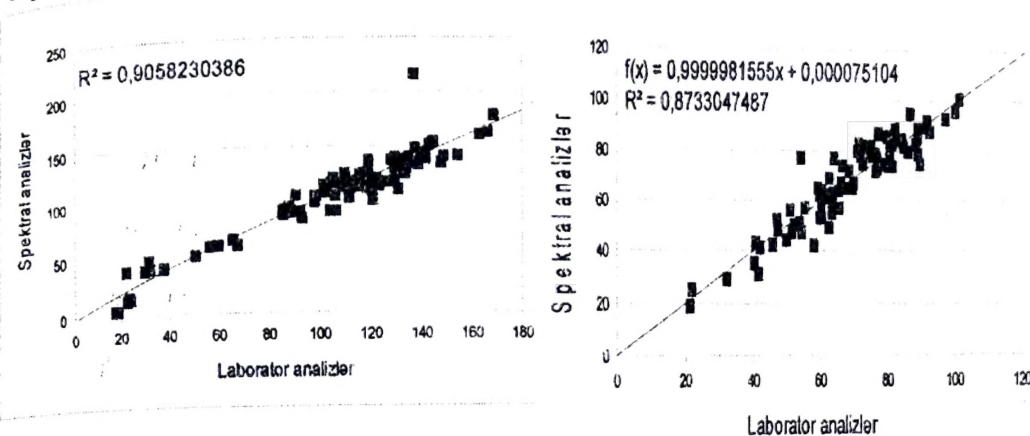
Statistik göstəricilər	Proqnoz CaCO <sub>3</sub>	Laborator CaCO <sub>3</sub>	Proqnoz Fəal CaCO <sub>3</sub>	Laborator fəal CaCO <sub>3</sub>
Nümunələrin sayı	188	90	188	80
Minimum miqdar	9,267	3,6	13,97	19
Maximum	168,703	215,8	100,657	101
Interval	159,436	212,2	86,687	82
Orta miqdar	101,5	106,1	60,9	67,8
Xəta	2,9	4,2	1,4	2,0
Variasiya	1576,6	1606,0	387,7	326,6
Orta kvadratik paylanma	39,7	40,1	19,7	18,1

Cədvəl və şəkil 5-ə nəzər yetirdikdə aydın olur ki, torpaqda karbonatların miqdarının proqnozu özünü doğrultmuşdur. Spektral analize cəlb olunmuş nümunələrin ümumi sayı 188 olmuşdur. Bütün nümunələrin spektral modelləşdirilməsi nəticəsində ümumi karbonatlar üçün reqresiya kofisienti 0.90 və fəal karbonatlar üçün isə 0.87 olmuşdur. Spektral proqnoz nəticəsində ümumi karbonatların maksimum miqdarı 168.70 q/kq (fəal karbonatlarda 100.6 q/kq), minimum miqdarı 9.2 q/kq (fəal karbonatlarda 13.97



q/kq) orta miqdarı isə 101.5 q/kq (fəal karbonatlarda 60.9 q/kq), olmuşdur. Spektral modelləşdirmənin dəqiqliyini qiymətləndirmək üçün istifadə olunan Orta kvadratik xəta ümumi karbonatlar üçün 2.9, fəal karbonatlar üçün 4.2 olmuşdur.

Şəkil 6. Ümumi karbonatların və fəal karbonatların xətti regressiv korrelyasiyası



Spektral analizlərin geniş istifadə

## ƏDƏBİYYAT

1. A. Rinnan, F. Berg, S. Engelsen. 2009. Review of the most common pre-processing techniques for near infrared spectra, Trends in analytical chemistry, vol, 2b No. 10., pp. 1201-1222.
2. Chang, C.W., Laird, D.A., Mausbach, M.J., Hurburgh, C.R., 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. Soil Science Society of America Journal 65 (2), 480-490.
3. D. Curcio, G. Ciraolo, F. D'Asaro, M. Minacapilli. 2013. Prediction of soil texture distributions using VNIR-SWIR reflectance spectroscopy. Procedia Environmental Sciences. Elsevier. pp.494 – 503.
4. F. Kayamim, J. Wetterlind, Hossesin Kademi, A.H. Robertson, A.F. Cano, B. Stenberg. 2015. Using visible and near infrared spectroscopy to estimate carbonates and gypsum in soil in arid and subhumid regions of Isfahan, Iran. Journal of Near Infrared Spectroscopy. IM Publications. pp. 155-165.
5. G.M. Vasques, S. Grunwald and J. O. Sickman. 2011. "Comparison of multivariate methods for inferential modelling of soil carbon using visible/near-infrared spectra". J. Geophys. Res.: Earth Surf. 116, FO4023.
6. R.H. LOEPPERT, D.L. SUAREZ. 1996. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, pp. 677.
7. R.N. Clark, T.V.V King, M. Klejwa, G.A. Swayze, N. Vergo. 1990. High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. J. Geophysics. Res 95, 12.
8. Shepherd, K.D., Walsh, M.G., 2002. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. Soil Sci. Soc. America J. 66 (3), 988e998. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.9880>.

## Изучение карбонатов в лугово-сероземных почвах способом видимых и ближних инфракрасной спектроскопией

Ф.М.Фейзи́ев

Последние годы в науке почвоведение более широко распространено изучение почвы по спектральному методу. Причиной этому является то, что этот метод обходится дешево, быстро и безопасно для окружающей среды. По инфракрасной волновой длине проведены анализы видимых и ближних карбонатов, которые имеют основное значение морфогенетической диагностики лугово-сероземных почв. По результатам выяснилось, что в почве имеется хорошая корреляция между количеством карбонатов и спектральными свойствами. Проведена статистическая обработка, определена, что получаемые результаты можно использовать в почве для изучения карбонатов.

**Ключевые слова.** CaCO<sub>3</sub>, лугово-серые почвы, спектральные сканы, PLSR моделирование

**Using visible near infrared spectroscopy for studying soil carbonates of meadow-grey soils of the mugan plain**

F.M. Feyziyev

In recent years, there is a wide attention to study soils using VIS-NIR (visible-near infrared) spectroscopy. Because this technology is cheaper, rapid and non ecological hazards. Meanwhile, there was investigated soil carbonates in Calcisols which plays significant role its morphogenetics using Vis-NIR spectroscopy. As a result, there is high correlation between soil spectral properties and soil carbonates. The statistical analysis of the results was carried out and determined that the results obtained may be used for the study of soil carbonates.

**Key words.** CaCO<sub>3</sub>, meadow-grey soils, spectral scans, PLSR modelling